

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.11.027

# 高速公路的景观生态系统恢复策略

于冰沁<sup>1</sup>, 车生泉<sup>1</sup>, 田舒<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学 农业与生物学院, 上海 200240; 2. 上海中景地景园林规划设计有限公司, 上海 201100)

**摘要:** 为了了解和解决高速公路建设给周边带来的生态问题, 通过对案例和中外文献的剖析, 深入分析了高速公路建设和运营所带来的生态环境影响, 对应这些造成生态环境影响的原因, 得出切实有效的景观生态系统恢复策略, 即针对公路建设的不同阶段(规划、设计、施工及运营)和高速公路所处的地理位置(城市、郊区、乡村及郊野), 从高速公路规划和设计阶段开始, 布局行之有效的景观生态恢复策略: (1) 明确生态系统恢复的目标和节点; (2) 建立景观生态系统影响的评价体系; (3) 缓解设计行为的积累影响; (4) 引导动植物生境修复; (5) 降低建设过程对本地生态环境的影响。

**关键词:** 环境工程; 高速公路; 综述分析; 景观生态恢复; 生态公路

中图分类号: U418.9; TU985.18

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2012)11-0145-08

## Recovery Strategy of Landscape Ecosystem along Expressway

YU Bingqin<sup>1</sup>, CHE Shengquan<sup>1</sup>, TIAN Shu<sup>2</sup>

(1. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Shanghai ZJDJ Landscape Planning Ltd., Shanghai 201100, China)

**Abstract:** In order to fully understand and solve the problem of surrounding ecological environment caused by expressway construction, through analysing the cases and literatures, in-depth analysis of the impact of expressway construction and operation on ecological environment was conducted. The effective landscape ecosystem recovery strategies at different stages of road construction (planning, design, construction and operation) and the location of the expressway (urban, suburban, rural and wildland) corresponding to the reasons for the ecological environment impact were obtained. Starting from the expressway planning and design stage, the following effective landscape ecological restoration strategies were deployed: (1) clarifying the goals and nodes of ecosystem recovery; (2) building the evaluation system of landscape ecosystem influence; (3) relieving cumulative impacts of design behavior; (4) inducing restoration of biotic habitats; and (5) reducing the influence of construction on local ecological environment.

**Key words:** environmental engineering; expressway; analysis of review; landscape ecosystem recovery; ecological highway

## 0 引言

随着我国经济的高速发展, 城市化、工业化进程的日益加快, 高速公路建设事业也有了迅猛的发展。截至2011年底, 我国高速公路总里程已经达到

8.5万 km, “十二五”末期, 总里程更将达到10.8万 km, 覆盖90%以上的20万以上城镇人口城市。然而随着公路建设的不断加速与延伸, 公路建设和运营对周边环境产生的负面影响也日益加剧。高速公路建设可能导致土壤结构改变、土质遭到侵

收稿日期: 2012-04-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAC13B04-05)

作者简介: 于冰沁(1983-), 女, 辽宁沈阳人, 博士后。(yubingchin1983@126.com)

蚀,且部分路线对动植物生境及自然资源保护区的侵害严重,而运营期间所产生的噪音及振动对周边动植物及居民聚居均产生了干扰。这些问题严重地影响了高速公路周边土地的价值以及沿线经济的发展,使生态环境保护和经济发展相互掣肘,并且陷入互相抵制的恶性循环。因此,关注公路建设及路域生态环境间相互影响、相互制约的关系将成为未来高速公路发展的重中之重,“生态公路”的建设理念便应运而生。

## 1 高速路景观生态恢复的国内外研究现状

我国高速公路的建设开始于1988年,起步较晚,且我国幅员辽阔,路域环境复杂,从而给高速公路的建设带来更多的挑战。然而,即便如此,相关数据却表明我国高速路建设的发展极为迅速,并对我国国民经济的发展起到了巨大的推动作用。但是,与之相关的高速公路景观生态设计及沿线生态环境恢复等方面的研究依然处于起步阶段,对其的理解仅仅局限于“绿化固土”和“美化护坡”等层面,且沿线景观的存在被视为服务于高速公路运营需求的附属品和装饰物。这种思维的局限造成了高速公路的建设与运营往往以牺牲路域生态环境为代价的局面<sup>[1]</sup>。

相对于国内高速路景观生态环境研究的局限,欧美发达国家自20世纪50年代就已经开始重视和研究高速公路对沿线生态环境的影响。例如,美国通过联邦立法的途径规定新建公路必须采取生态恢复措施保持自然资源和景观,而美国国家环保局(NEPA)每年发布的环境监测报告则会详细记录每一段公路的环境影响评估;日本在公路生态恢复方面起步略晚于欧美发达国家,但其应用的现代技术已处于世界领先水平,其尊重自然的核心理念也使高速公路对沿线生态环境的不利影响保持在较低的程度,并通过回填原有表土、回植原有植被、设置动物迁徙通道等措施努力将生态环境恢复到公路建设前的原始面貌;德国除了注重在植物配置上尊重自然规则外,更强调公路建设与生态系统恢复的紧密衔接,即在公路施工建设的同时开展沿线景观生态系统的恢复工作,工程开挖的土方被立刻转运至回填地点,以开展土壤整治和景观塑造操作,不仅使生态环境的破坏程度降到最低,影响时间也缩减到最短<sup>[2]</sup>。

随着我国高速公路建设的迅速发展,以及20世

纪80年代以来国民对生态环境问题的日益重视,我国交通部门相继出台了针对高速公路绿化、美化的标准与规范,在法律法规层面制定了高速公路的环境保护、景观绿化设计、环境影响评价等相关方面的规章制度。各级公路建设管理部门也投入了大量的资金和精力来修复公路建设所带来的生态环境及生态系统影响。这些努力使高速路景观由过去简单的工程绿化手段转变为复杂的植物群落构建方式。然而,这种植物建植模式仍然停留在“为绿而绿”的阶段,即高速公路的景观设计过分注重形式审美,强调满足视觉感官的需求,片面追求近期的绿化效果,忽略了生态系统的长期效益问题,导致我国高速公路的发展与沿线生态系统的演替进程不协调。

## 2 高速路景观生态恢复的理论基础

为了弥合高速路发展与自然生态环境之间的关系,“生态公路”的理念应运而生,其概念要求在高速公路的规划设计和建设过程中,将沿线自然资源的保护和公路的良性发展之间的融合放在首位,不以牺牲生态环境和自然资源为代价,充分考虑人的活动和公路的运营给原生生态系统带来的影响,并利用生态设计的方法促进公路的可持续发展<sup>[3]</sup>。“生态公路”不只是一种公路营建的理念和目标,更是一门多学科理论交叉渗透的系统科学,涉及交通工程学理论、景观生态学理论、生态恢复理论和植物造景理论。

### 2.1 交通工程学理论

交通工程学是一门综合性的学科,从交通运输的角度将人、车、路、环境及能源等与之相关的方面作为一个整体系统进行研究和考量,以寻求道路通行能力最大、交通事故最少、运行速度最快、运输费用最省、环境影响最小、能源消耗最低的交通系统规划、建设与管理方案,从而达到安全、迅速、经济、方便、舒适、节能及低公害的目的。交通工程学具有系统性、综合性、交叉性、社会性、超前性和动态性等特点,涉及工程、法规、教育、能源、环境等多方面内容<sup>[4]</sup>。在高速公路的选线及规划设计阶段,应用交通工程学理论和方法,依据现状土地的适宜性分析,考虑高速公路规划施工及运营阶段将产生的问题,确定合理的路网方案,在保障高速公路本身功能的同时,减少环境影响,降低能源消耗,营造优越的行车环境。

## 2.2 景观生态学理论

景观生态学是以整体人类生态系统、自然生态系统和城市生态系统为研究对象,通过物质流、能量流、信息流与价值流在地球表层的传输和交换,通过生物与非生物以及人类之间的相互作用与转化,运用生态系统原理和系统方法研究景观格局和功能、景观动态变化以及相互作用机理、景观优化结构、合理利用与保护的一门交叉学科<sup>[5]</sup>。基于景观生态学理论,遵循共生原理、多重利用原理、循环再生原理、局部控制、整体调节和因地制宜等原则,高速路生态设计的目的是通过生态系统内部的调节作用,使人类较少的物质能源投入获得较大的生态和社会效益。在景观生态学理论中,高速公路的路网被视为基本的景观格局构成要素—廊道—兼具生态通道和屏障的双重功能,是生态系统间的桥梁和纽带。高速公路路网的封闭性导致原本连通的景观单元中的物种无法进行交互迁移,打破了原有生态系统的稳定性,同时其贯穿性却从另一方面促进了其他景观单位间的物质与能量交换。因此,运用景观生态学理论的生态设计方法可以在一定程度上削弱并修复高速公路路网对沿线生态系统的破坏。

## 2.3 生态恢复理论

生态恢复即为恢复受损害的生态系统至接近其受干扰前的自然状况,重建系统受干扰的结构和功能以及物理、化学和生物学特征,恢复生态系统的良性循环和功能<sup>[6]</sup>。生态恢复的过程是一个将群落逆行演替转变为进展演替的过程。在受迫生物群落逆行演替的任一阶段,只要环境胁迫未超过该群落的生态阈值,一旦干扰停止,群落将随即开始新的次生演替,且速度较原生演替更快。因此,以生态恢复理论为依据的高速路景观生态系统恢复将在确定需要恢复的生态系统的演替过程后,通过物理、化学、生物等技术手段,调控待恢复系统的演替过程 and 方向,恢复生态系统的结构和功能,使系统到达自然平衡。针对高速公路建设可能造成的生态影响,其生态恢复的目的主要为稳定地表基底、恢复植被群落和土壤结构、提升物种多样性、恢复生物群落构成、控制污染和改善环境。

## 2.4 植物造景理论

植物造景(植物景观塑造)指在规划设计过程中运用乔、灌、藤、草等植物素材通过艺术的手法,结合考虑场地生态因子的交互作用,充分发挥植物本身的自然及生态特征,创造与周围环境相协调并

具有一定功能的公共空间<sup>[7]</sup>。植物景观的塑造是科学性和艺术性的高度统一,既要考虑植物的生物学特征、生态功能和特性,也要考虑季节、色彩、韵律、比例等艺术因素。植物景观的塑造必须遵循以下原则:(1)植物的功能性;(2)物种间的关联性;(3)适用原则;(4)美观原则;(5)多样性原则;(6)地方性原则<sup>[8]</sup>。兼具多重功能的植物景观塑造是高速公路路域进行生态恢复的必要手段和途径。通过系统的植物景观构建,以植物群落为基础的高速公路沿线的生态系统将对人类活动干扰具有更强的适应性,并为原生野生动物的栖居和繁衍提供适宜的生境,有利于被破坏的生态系统及景观环境的恢复。

此外,高速公路的景观生态系统恢复还应该遵循其他相关理论,如视觉生态理论、噪声感知理论、污染感知理论、色彩感知理论、园林美学理论、公路景观学理论等诸多方面。只有上述理论在高速公路规划初期就得到充分的考虑和应用,才可以说高速公路的生态恢复和可持续发展理念才得以贯彻和实施,并指导高速公路规划、施工、运营等各阶段的实践。

## 3 高速路景观生态影响分析

高速公路在建设和运营期间对沿线生态环境产生的影响足以使自然生态系统退化甚至消亡,且在一些经济欠发达地区尤为严重。与其他景观单元相比,高速公路对生态廊道的干扰作用是最为明显的。例如,高速公路经过林区时将可能导致 3 方面负向干扰:(1)使原本完整的植物群落被迫分割;(2)破坏原有动植物生境(生境即栖息地,指生物的个体、群落或群落生活地域的环境,包括必需的生存条件和其他生物起作用的生态因素<sup>[9]</sup>)的结构和功能;(3)迫使野生动物改变生活习性,甚至冒险穿越生境屏障。此外,这种干扰也会严重影响原生生物多样性,迫使复杂的乔木群落因技术和经济等原因被替换为草坪或灌木等单一的群落。除了植物物种的改变,高速公路建设的干扰也可能影响鸟类等野生动物的生存,甚至完全改变区域的生态系统结构。这种屈从于人类利益而牺牲其他物种生存机会的公路建设行为是不具有可持续性的。

### 3.1 高速公路建设的不同阶段对生态环境的影响

高速公路的建设由 4 个阶段组成:规划、设计、施工、运营维护。高速公路的建设将影响沿线的生

态系统和自然资源,包括空气质量、水质、野生动物以及不同类型的自然群落。从规划和设计阶段伊始,其选线方案就决定了高速路对景观生态系统的干扰程度,而施工和运营阶段的影响依然不可逆转。其中,规划阶段包括了对高速公路建设的前期勘察,而勘察阶段的选址决定了受影响的生态系统类型以及将产生的直接和潜在的环境胁迫;设计阶段包括最终路域的选择以及高速公路的结构和节点设计,决定了高速公路的宽度、坡度和结构,也确定了将对沿线生态系统稳定性、生境的完整性和物种多样性所造成的影响。施工阶段包括植被移栽保护、土方挖掘和道路建设等实践活动,决定了建设对生境影响的强度(例如侵蚀和干扰)。尽管,植被迁移可以安排在路域生态系统的生态阈值范围之内,但是过度的植物群落迁移也会对原有植被系统造成不可逆的破坏。此外,对路域范围内生境的物理毁坏、土壤侵蚀及其他形式的污染也是这一阶段建设的主要影响。运营与维护阶段包括工程实施后的管理和维护工作。尽管工程实施所造成的直接影响已经截止,但是公路运营所产生的噪音污染、空气污染、生态廊道阻隔等影响已经形成,并将长期存在。

### 3.2 高速公路建设造成生态系统影响的类型

完整的高速公路项目必然会在上述建设阶段对路域生态系统的价值和功能造成影响。这种影响主要通过以下8种途径表现:(1)地形的改变;(2)植被的迁移;(3)土壤的侵蚀和沉降;(4)水文特质(脱水或淹水)的变化;(5)酸化、盐碱化以及气候变暖;(6)噪音和视觉的干扰;(7)外来物种的入侵;(8)公路隔离造成的野生动物直接死亡<sup>[10]</sup>。同时,这些干扰途径又会对高速公路沿线的生态系统造成以下5种影响:(1)物种直接的消亡;(2)生存和繁衍的压力;(3)正常的活动行为阻碍;(4)种群间杂交的阻断;(5)生物多样性降低以及外来物种的入侵<sup>[11]</sup>。高速公路因为其自身的线性结构(廊道)而对生态系统产生的影响是广泛而多样的。依据直接、间接和累积的干扰方式,高速公路的建设对沿线生态系统及自然环境的影响分为4类:破坏生境、分裂生境、使生境退化和累积影响。

#### 3.2.1 生境的破坏

高速公路的建设对生态系统最直接的影响是将自然生境转变为公路用地。尽管,路域内的野生植被可能会被保留,但是原有的土地已经被改变为硬质铺装,土地特性已经被改变;植被疏理和土地平

整使原有的乔、灌、草植物群落结构被破坏,土质和地形也发生了改变;湿地环境下进行的公路建设要求地域场地进行填埋或者将湿地蓄水排空,严重破坏了湿地生境;而水环境下建设的堤坝或者路桥会破坏水生动植物生境。高速公路路面的铺设,路域植被的迁移都会导致部分原生生境种类被淘汰,只能通过人工或半人工设计的生境来予以弥补。

#### 3.2.2 生境的分裂

高速公路的现状景观格局导致了沿线生态系统生境的分裂,而这种生境的分裂正是敏感生物群落消亡的最主要原因,是对生态系统生物多样性最主要的威胁。同时,生境的分裂也会导致严重的自然资源及景观的损耗,而高速公路的宽度也将对阻断动物迁徙和孤立生境起到明显的干扰作用:(1)导致遗传学多样性的骤减,近亲繁殖的几率增大,尤其是那些非迁徙的本土物种的风险更为突出;(2)由于受到公路的阻隔,小规模物种消亡的风险增大,重建的可能性降低;(3)需要广泛地域活动的物种将消失;(4)对生境改变反应敏感的生物群落将消失;(5)由于明确的地域分隔,给了某些同种杂草适宜的生长环境,杂草的种类和数量激增。此外,高速公路的连续性还对沿线生境的温度、湿度、水分和空气流动等微气候造成影响,从而影响植被的稳定生长,且高速公路的阻隔效应也将对适应于原生生态廊道迁移的野生动物造成直接的生命威胁。

#### 3.2.3 生境的退化

生境的退化特指那些未经损害的生态系统的健康和生态完整性的下降。在高速公路的建设过程中,这种退化现象与生境的分裂和边缘效应紧密相关。其中,边缘效应指与高速公路路域接壤生境的完整性由于受到高速公路建设过程所带来的干扰、污染、噪音等不利因素的影响而遭到破坏。另外,高速公路路域地质和环境的改变也会在水质、外来物种入侵等方面对原生生物群落造成影响。例如,在临近高速公路路域的林地生态系统中,小片的林地更容易受到物理干扰的影响,而大面积的林地则对土质的改变更加敏感。高速公路路域带来的温度、风向、地下水位的改变会通过边缘效应作用在林地生态系统内部,从而影响树木的生长,间接地降低生态系统的健康程度和稳定性。同时,高速公路建设和运营期间对沿线区域空气和水质的污染是生境退化的主要原因。例如,土壤的侵蚀和沉降以及温度的升高会破坏植物群落的正常演替;地下含水层可能因

为施工过程的挖掘和填埋而改变;地质层的断裂(由于高速公路通过的砂岩和石灰岩地区)可能引发地下水污染甚至干涸。此外,高速公路建设也会严重干扰生态演替进程,包括水流形式、动物迁徙模式以及食物链的构成。高速公路对水流的阻隔会造成水系统、湿地系统和陆地环境的退化,其对河岸生态系统的影响尤为严重。高速公路的运营需要降低火灾的风险,而在自然生态系统中,适度的火则是自然演替的必要途径<sup>[13]</sup>。高速公路所造成的阻隔也妨碍了野生动物的迁徙、竞争和捕猎,干扰了生态系统的良性循环。

### 3.2.4 累积的影响

与其他的人类活动干扰不同,高速公路建设所带来的生态环境和生态系统影响可以累加,当高速公路与其他的公路系统或其他高速公路路段共同存在于同一时间或空间时,这种生态影响会得到累加。而这种影响的累积会加剧其对生境的分裂作用。当生境被迫分割成小而多的生态孤岛时,其中的物种将很难保持在维持生态系统平衡的数量。这种积累式的生态格局分割所造成的影响远大于每个单独的影响因子的加和。

### 3.3 高速公路的类别与生态影响分析

在分析高速公路建设所造成的生态系统影响时,不同的高速公路种类所带来的生态影响也不同。例如,在对生境的分裂影响中,城市高速公路路域所面临的问题远不如林区或湿地高速公路路域那样紧迫。依据高速公路经过的区域可以将高速公路工程类别及其相应的生态影响分为 4 种:城市高速公路、郊区高速公路、乡村高速公路和郊野高速公路<sup>[14]</sup>。

#### 3.3.1 城市高速公路

城市高速公路对生境的影响是最小的,由于城市高速公路的建设是对已开发地区的再次开发,因此可能对自然生态系统造成二次影响。部分高速公路的建设工程也会对城市中的自然水体和城市生态系统造成影响。由于当地的自然栖息群落和生境已经因城市的发展而遭受孤立,因此高速路的建设对生境的分裂作用十分有限。城市高速公路对生态系统最主要和最直接的影响是造成生境的退化,城市区域的径流将承受公路建设和运营所带来的更加严重的污染,且空气质量、植被覆盖率和少数野生动物的栖息也会受到影响。

#### 3.3.2 郊区高速公路

同城市高速公路相似,郊区高速公路将对因不

适应城市环境而向城郊自然栖息地迁徙的物种产生影响,即高速公路的分裂作用带来的影响使城郊可能存在的、完整的自然栖息地生态系统再次被孤立。同时,废弃物的排放和地表径流污染,以及杂草和外来物种入侵也是城郊高速公路建设所带来的问题。此外,由于城郊经常是二次开发和基础设施建设的集中地区,所以郊区高速公路的建设随时可能给沿线生态环境和系统结构带来累积的生态影响。

#### 3.3.3 乡村高速公路

相对于城市和郊区,乡村地区的特点是住宅、商业和工业用地所占的比重更少。尽管,乡村地区的土地类型更多表现为农田或者鱼塘等生产性用地,但是由于大多数的农业环境中依然保持着一定数量的自然生态系统,因此乡村高速公路对生态系统的影响比城市和郊区高速公路类型更大。除了单一类型的耕地、林地和鱼塘以外,乡村地区的物种多样性也比城市和郊区更加丰富,而伴随着乡村高速公路的开发与建设,这些生境将面临割裂和破碎的威胁。

#### 3.3.4 郊野高速公路

与上述 3 种土地类型相区别,郊野景观的特点是不受人类活动的干扰,而高速公路往往是野生生态系统和自然生境所遭受到的惟一的人类行为影响。较之已开发和再次开发地区的生态系统,郊野生态系统更加复杂和敏感,而生境的破坏、生境的分裂、生境的退化都将是高速公路建设影响郊野生态系统的重要形式。

## 4 高速公路景观生态系统恢复策略

### 4.1 高速公路景观生态系统保护与恢复的目标

1993 年,美国环境质量委员会的报告中提出了以下 11 条最重要的高速公路景观生态系统保护目标:(1) 绘制生态系统地图;(2) 保护动植物群落和生态系统;(3) 减少分裂,保持原生生境的连通性;(4) 保护本土物种,减少外来物种的引入;(5) 保护珍稀物种以及重要的生态物种;(6) 保护独特的敏感的自然环境;(7) 延续自然生态系统的演替进程;(8) 维护并提升自然结构的稳定性;(9) 保护遗传的多样性;(10) 修复受损的生态系统、动植物群落和物种;(11) 对生态系统的生物多样性进行实时监测<sup>[15]</sup>。

### 4.2 高速公路景观生态系统影响的评价体系

景观生态系统影响的评价体系在传统的环境评

估方法中加入了景观的分析视角,以确定生态系统的节点,并实现模式分析。高速公路的景观生态系统影响评价需要从辖域和分析2方面入手,包括确定适当的分析尺度、设定适当生态目标和端点、收集信息和分析影响。

#### (1) 确定适当的尺度

尺度是生态恢复策略的核心问题。为高速公路的景观生态系统影响评估确定合理的边界,有利于充分地考虑可能受到高速公路建设影响的所有自然生态资源。其中,部分生态系统的边界很广泛,例如水和大气;而其他部分的边界则比较确定,例如珍稀植物群落。

#### (2) 设立生态恢复的目标和节点

为充分考虑高速公路的生态影响,设立明确的恢复目标是非常必要的,而与之对应的节点确定也必不可少。目标和节点的确定有益于有针对性的生态系统恢复策略的制定(表1)。

表1 生态保护目标和生态恢复节点的确立<sup>[16]</sup>

Tab. 1 Establishment of ecological protection goals and recovery nodes

生态保护目标	生态恢复节点
以生态系统为单元,明确区域需求	区域规划的连贯;区域生态系统的完善
保护敏感生物群落及生态系统	敏感生物群落的区域;敏感生物群落的状态
保护生物多样性和自然生态进程	本土生物多样性;本土生境结构多样性;水系统、养料及能量循环系统、火循环,以及关键物种间相互作用的状态
保护沿线生态系统内的敏感物种	敏感物种的数量;敏感物种的状态
尽量减少沿线生态系统生境分裂	生境的连贯性;生境区块的分布;受影响生境的连贯生境的数量

#### (3) 收集生态系统信息

一个成功的生态系统恢复方案需要收集各个方面的信息作为分析和解决问题的基础。

#### (4) 生态系统影响分析

通过搜集必要的现状信息,可以确定高速公路所带来的直接、间接及累积的生态影响。(1) 分析评估核心:应用生态级别的视角全面审视生态系统中每个部分间的相互关系;对跨时间和空间的退化行为所可能产生的累积影响进行评估;分析即行缓解措施对生境恶化的缓解作用。(2) 分析评估对象包括:地质学资源、噪声、空气质量、水质、水环境、陆地环境、濒危物种、湿地、特定的自然区

域。(3) 分析评估步骤:敏感生境区域的分级及相关地图绘制;描绘生境的生态价值和生态功能;用比较的方法量化生境所受到的不同级别的影响<sup>[17]</sup>。

#### 4.3 降低高速公路景观生态系统影响的方法

高速公路的建设需要充分地考虑其对沿线区域景观生态环境的影响,在生态系统的框架内采取相应的缓解措施,并兼顾缓解行为本身可能对生态系统造成的影响。同时,高速公路景观生态系统的恢复策略还包括对其环境影响的降低和被破坏生态系统的恢复。

##### 4.3.1 生态系统的缓解方法

要缓解生态系统遭受到的威胁,就应该针对高速公路景观内所有影响行为的累积作用,以确保生态系统的健康、安全和稳定。在保护独立的生境结构和功能的基础上,高速公路的景观生态恢复策略还应兼顾生态系统的完整性。对于被分裂的高速公路沿线生境来说,最好的缓解办法就是设置生境缓冲区和生境廊道。

##### (1) 生境缓冲区

保护敏感的生境需要避免区域土地类型的直接转换,并设置充分的生境缓冲区,以减缓边缘的影响及消极的影响对沿线区域生态系统的干扰。例如,穿越林区的高速公路就可以通过设置缓冲区减少边缘的影响,在平行于公路的现状区域栽植植被带,以降低公路路域对林地的影响;而穿越滨水地带的高速公路的缓冲带则至少要有30 m宽,才可以完全抵消高速公路对水生生态系统的影响。

##### (2) 生境廊道

缓解公路造成的分裂影响的理想办法是重建生态廊道,修复生境的连续性。其一是在满足高速公路服务功能的基础上,尽量减少高速公路的宽度和段数。其二是通过设置天桥和涵洞的方式来缓解高速公路的分裂影响。但是,由于高速公路的边缘效应可能扩展到两侧200~600 m深的区域,这给人为架设生态廊道增添了难度。

高速公路景观生态系统缓解策略的制定必须基于对场地现状的全面了解,而这些生态系统保护与恢复的尝试应该遵循以下的原则:(1) 依据该区域的需求制定相应的缓解目标;(2) 模拟自然进程,保护本地物种;(3) 保护稀有的和具有重要生态价值的物种和生物群落;(4) 最大限度地避免生境的分裂,保护自然区域的连贯性;(5) 保持栖息地生态结构的多样性,保护本地物种,维护物种的多样

性; (6) 依据特定的区域和导致退化的行为制定缓解计划; (7) 检测建设及运营行为对生态系统的影响, 并根据需要修订缓解方案。

#### 4.3.2 环境影响降低的可能途径

##### (1) 规划阶段

避免影响敏感的生境, 保留生态系统缓解的可能性; 避免分裂森林或者其他连续的生境; 利用现有的非敏感生境和交通通道; 选择生境边缘的路线, 而不是分割现有生境; 减少穿越生境的公路长度和宽度; 避免或减少穿越长距离生境的路域; 通过与原生生境相同的方式修复受损的生境; 对于不可避免的野生动物生境的破坏, 规划应采用直接补偿的方式, 提高区域生态系统的承载能力; 对于不可避免的且不可复原的敏感生境, 采用接近或超过原有生境价值的补偿方式进行修复; 通过行政措施控制人类负向干扰, 防止人类活动的间接影响。

##### (2) 设计阶段

采用多年生植被和抗腐蚀性材料加固边坡、路肩和路面; 在条件容许的情况下, 减少公路护栏的设置, 控制雨水径流; 设置永久性的雨水排放系统, 包括引导植被护坡的雨水径流, 利用滞洪区或渗透系统保存雨水。

##### (3) 施工阶段

施工阶段内容包括植被迁移、土方挖掘以及按照规划和设计阶段制定的方案进行施工。其中, 每个步骤都由上述 2 个阶段决定, 而施工过程则可以就恢复策略的细节进行调整, 以消除短期的不利影响。在施工阶段, 严格有效的工程管理是最好的减少高速路景观生态系统影响的手段, 可有效地降低土壤侵蚀, 减少工程带来的径流污染、噪音污染以及其他与工程相关的生态环境污染。严谨的规划和工程监督还可以减少不必要的植被迁移和土方挖掘。

##### (4) 运营阶段

控制垃圾, 限制其他潜在的污染源; 控制农药和除草剂的使用量, 使敏感受体不受到负面影响; 避免公路径流直接排放至自然水域; 通过阶梯结构、挡板或者草地排水系统降低径流速度; 通过增加植物群落的密度和高度以及在设置路面隔挡的方式阻止污染物进入径流; 种植适应性强的乡土树种, 增加野生动物的食物来源。

#### 4.4 景观生态系统修复的策略

当高速公路对生态系统的影响已经无法避免, 或者在规划、设计、工程和运营阶段已经将影响的

幅度降到最低时, 下一阶段的景观生态修复策略的应用尤为重要。高速公路景观的生态恢复基于以下的 5 点框架: (1) 限定修复的目标; (2) 明确可持续发展和恢复生态价值的恢复目标; (3) 应用一个整体的方案来实现功能的恢复; (4) 通过与参考系统及完整的评价体系来评估生态恢复策略; (5) 针对每个生态系统类型运用反应生态价值需求的时间标准。

首先, 确定生态系统恢复的目标, 是具有特定用途的生态系统还是恢复成自然的状态, 同时, 将景观生态恢复的目标设置融入项目建设目标中, 并在营造“可持续发展的生物群落”的基础上选定特定的生态价值和功能; 确定生态系统恢复的程度, 预测其较恢复前的偏差; 对无法恢复到自然生态系统的区域, 可使用技术手段使其融入到周边景观中。生态系统恢复的步骤取决于被破坏生境的具体情况。针对高速公路对生态系统带来的影响, 有 2 种生态恢复方式: (1) 完全恢复高速公路影响前的生态系统; (2) 恢复并创造类似却又不同于之前的生态系统来代替已经转为他用的部分。显然, 第 2 种方式既满足了景观需求, 也在一定程度上限制了高速公路活动对生态系统的影响。这种恢复与创造相结合的方式被广泛地应用于控制面源污染、改善水质、鸟类生境的补强和恢复草原植物群落。而路域生态系统修复最为重要的因素则是要避免外来物种的入侵, 尤其是脆弱的植物群落。根据高速公路沿线的生态系统退化的严重程度, 其后的景观生态恢复将包括脱毒作用、重建物理结构、恢复化学平衡和营养供给、重建植被和土壤微生物群落、整合生境等功能, 并恢复小块生境的空间多相性, 恢复动物迁徙。无论利用哪种方法, 恢复工作的评估和调整都应该基于与适当的参考标准进行对比, 以确保恢复策略的制定能够恢复生态系统的结构、功能和价值。而这个参考标准则应该结合区域内的生态类别和生态完整性, 从未受干扰的生态系统中获得的。

#### 5 结论

高速公路的景观生态恢复并非是特指公路建成后所采取的生态补救措施, 而是从高速公路建设的规划阶段、设计阶段开始, 一直贯穿到施工阶段和运营阶段的生态主义思想。针对不同的路域特征和不同的公路类别, 高速公路的景观生态恢复的目标和方法也不尽相同。随着我国经济的腾飞, 技术问



题已经不再是限制我国高速公路发展的制约因素,而如何使生态设计的意识贯穿高速公路建设的始终成为设计师理应秉承的规划设计理念。只有在公路建设的同时随即开展景观生态恢复工作,才能避免高速公路沿线的生态环境和系统破坏。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 陈建新. 高速公路路际景观系统研究 [M]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.  
CHEN Jianxin. A Systematic Research on Expressway Landscape [M]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2005.
- [2] 国外道路标准规范编译组. 国外公路景观与环境设计指南 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.  
Foreign Road Standards Compilation and Translation Group. Foreign Highway Landscape and Environment Design Guide [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.
- [3] 王珏. 生态公路探索与实践 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.  
WANG Jue. Exploration and Practice of Ecological Highway [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [4] 韩凤春, 刘东. 交通工程学 [M]. 北京: 中国人民公安大学出版社, 2002.  
HAN Fengchun, LIU Dong. Traffic Engineering [M]. Beijing: Chinese People's Public Security University Press, 2002.
- [5] 于振荣. 景观生态学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.  
YU Zhenrong. Landscape Ecology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [6] 张敏, 陈红, 蒋鹏. 高速公路建设区域生态功能区划方法 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (4): 137-143.  
ZHANG Min, CHEN Hong, JIANG Peng. Study on Ecological Function Regionalization in Expressway Construction Region [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (4): 137-143.
- [7] 苏雪痕. 植物造景 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1994.  
SU Xuehen. Plant Landscaping [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1994.
- [8] University of Wisconsin. Environment Corridors: Lifelines of the Natural Resource Base [R]. Madison: University of Wisconsin, 2004.
- [9] Topic No. 650-050-001, Environmental Management, Highway Landscape, Beautification, and Plan Review [S].
- [10] 廖新辉, 张阳. 浅谈高速公路建设对环境的影响及保护措施 [J]. 广西交通科技, 1999 (6): 17-19.  
LIAO Xinhui, ZHANG Yang. Discussion of Impact of Highway Construction on Environment and Protection Measures [J]. Guangxi Communication Science and Technology, 1999 (6): 17-19.
- [11] SOUTHERLAND M. Evaluation of Ecological Impacts from Highway Development [M]. Washington, D. C.: U. S. Environmental Protection Agency, 1994: 54.
- [12] 郑焕能, 胡海清. 火在森林生态系统平衡中的影响 [J]. 东北林业大学学报, 1990, 18 (1): 8-12.  
ZHENG Huanneng, HU Haiqing. Influence of Fire on the Balance of Forest Ecosystem [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1990, 18 (1): 8-12.
- [13] LOTT G, GRAHAM P. ASLA Florida Highway Landscape Guide, TBE Project No. 0095-71.00 [R]. Tallahassee: Florida Department of Transportation, 1995.
- [14] SOUTHERLAND M, SERFIS J. Evaluation of Ecological Impacts from Highway Development [M]. Washington, D. C.: U. S. Environmental Protection Agency, 1994.
- [15] ADAMS L W, GEIS A D. Effects of Highways on Wildlife, Report No. FHWA/RD-81/067 [R]. Washington, D. C.: Urban Wildlife Research Center and U. S. Fish and Wildlife Service, 1981.
- [16] HOWORTH L S. Highway Construction and Wetland Loss, Report No. 94-WMB-6 [R]. Washington, D. C.: Mitigation Banking Programs in the Southeastern United States, 1991.
- [17] WHITESIDE E P. Ecological Effect of Highway Construction upon Michigan Woodlots and Wetlands [J]. Journal of Environmental Quality, 1997, 6 (4): 467-471.